1

La ciencia y el mundo en que vivimos

En primer lugar, no puede haber ciencia viva a menos que haya una convicción instintiva generealizada de la existencia de un *Orden de las Cosas,* y, en especial, de un *Orden de la Naturaleza.*

Alfred North Whitehead, 1927.

Interpretaciones de la Naturaleza: antigua y moderna

El mundo en que vivimos presenta una variedad infinita de fascinantes problemas que excitan nuestra admiración y curiosidad. El investigador científico, como un detective, intenta formular estos problemas en términos precisos y, en cuanto es humanamente posible, resolverlos a la luz de todos los hechos relevantes que se pueden reunir, mediante la observación y la experimentación. Preguntas tales como «¿Qué es?», «¿Cómo?», «¿Dónde?» y «¿Cuándo?» le desafían a encontrar los indicios que puedan sugerirle posibles respuestas. Frente a los variados problemas que presenta, por ejemplo, un volcán en actividad (frontispicio), podemos preguntar: «¿De qué están hechas las lavas?», «¿Cómo funciona el volcán y cómo se produce el calor?», «¿De dónde proceden las lavas y los gases?», «¿Cuándo comenzó el volcán a hacer erupción y cuándo es probable que vuelva a entrar en actividad?»

En ésta, y en tantas otras cuestiones, la pregunta «¿Qué es?» se refiere en general a la materia de que están hechas las cosas y se puede responder en términos de compuestos químicos y elementos. No entendiéndose por elementos los cuatro fundamentales del filósofo griego Empédocles (alrededor de 490-430 a.C.), quien los consideraba los ingredientes últimos de las cosas: el Fuego, el Agua, la Tierra y el Aire, sino los elementos químicos tales como hidrógeno, oxígeno, silicio, hierro y aluminio. La pregunta «¿Qué es?» se refiere también a los nombres de las cosas, y especialmente, a sus formas y estructuras: cosas cuyo tamaño varía entre las partículas atómicas elementales y las galaxias de estrellas que constituyen el Universo, con nuestra propia Tierra, de un tamaño intermedio entre los extremos inconcebiblemente grande y pequeño.

La pregunta «¿Cómo?» se refiere a los procesos y acontecimientos naturales —cómo se originan, ocurren o cambian las cosas— y, en el campo de las actividades humanas, a los métodos y técnicas. Esta cuestión lleva a la verdadera esencia de la mayoría de problemas naturales, y las respuestas adecuadas, aunque se cuentan entre las más difíciles de encontrar, son para el científico las que mayor satisfacción le proporcionan.

«¿Dónde?» se refiere a lo que tenga conexión con el espacio, y en particular, con las posiciones relativas y distribuciones de las cosas. La situación y distribución de petróleo y uranio son ejemplos tópicos de interés corriente.

La pregunta «¿Cuándo?» plantea todos los problemas relativos a la historia de cosas y acontecimientos. Descifrar la historia de la Tierra y de sus habitantes es la meta más ambiciosa del empeño geológico.

El investigador científico actual difiere del detective con el que le hemos comparado, en un rasgo importante. Excepto cuando se refiere a la naturaleza humana, que es siempre el caso del detective, y quizá con algunos tipos de comportamiento animal, el investigador científico nunca plantea la pregunta «¿Por qué?» en el sentido estricto que implica motivo o propósito. Es completamente inútil, por ejemplo, preguntar por qué

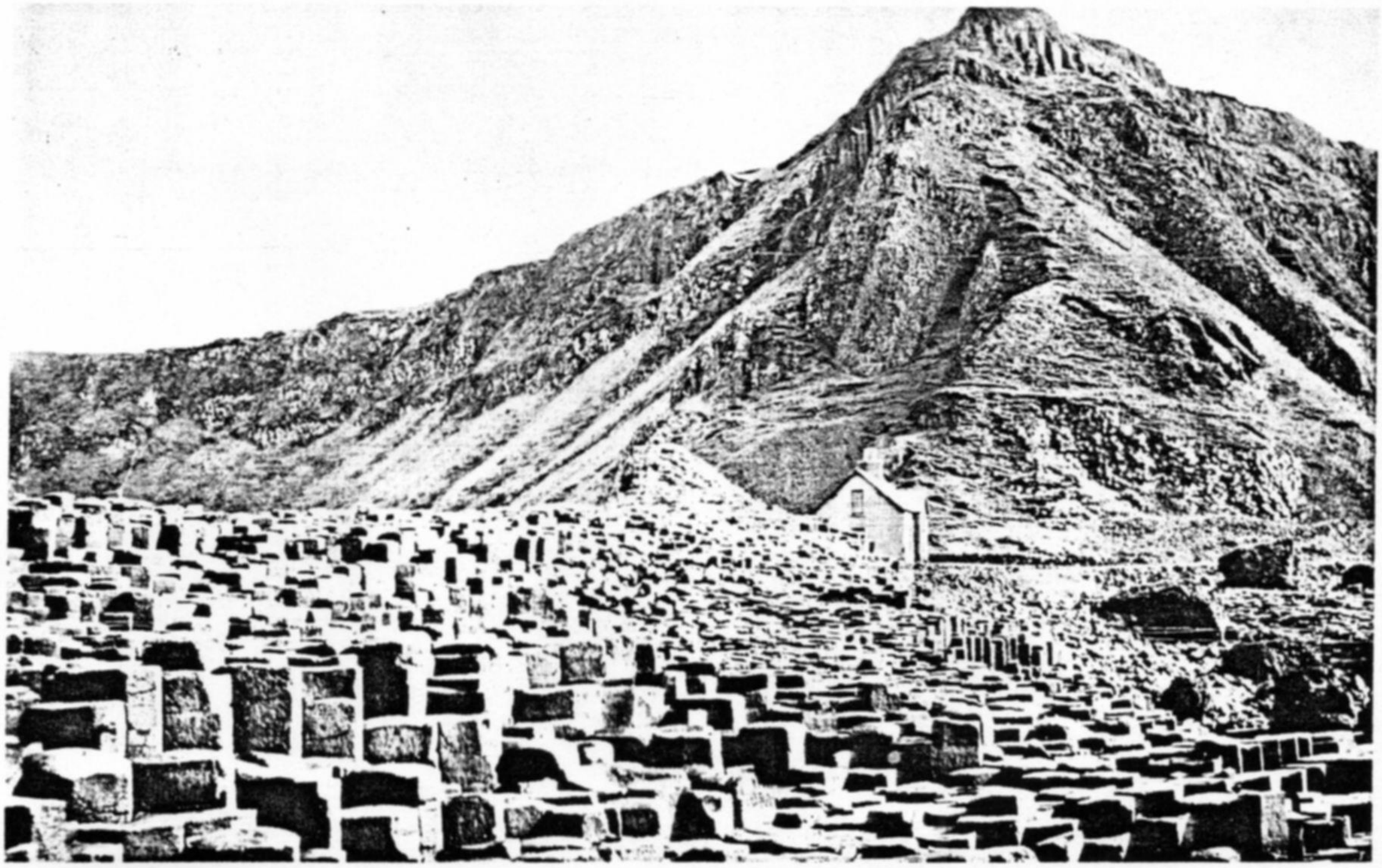


Figura 1.1. Calzada de los Gigantes, Co. Antrim, Irlanda del Norte. Vista de la Gran Calzada mostrando columnas verticales. Se ven columnas inclinadas escalonadamente en la colina, a la derecha de la casa *(Northern Ireland Tourist Board)*.

hace erupción un volcán, o por qué el cielo es azul, o por qué hay terremotos, ya que no hay medios posibles de encontrar respuesta a tales preguntas. Desde luego, con frecuencia preguntamos «¿Por qué?» en el sentido vago de «¿Cómo ocurre o llega a ser...?», lo cual tampoco es grave, si se interpreta claramente que este uso es sólo un argot científico para no parecer pedantes.

«¿Por qué?» implica siempre una pregunta más, «¿Quién?» Así, las viejas leyendas de Irlanda nos dicen que eran los gigantes los responsables de muchos fenómenos naturales. Eran honderos o constructores. Se dice de uno de ellos que arrojó la isla de Man al mar de Irlanda, y que Lough Neagh es el sitio de donde la arrancó. La Calzada de los Gigantes, que es una terraza modelada por los agentes meteóricos y por el mar en una lava de basalto columnar (fig. 1.1), se «explicaba» como obra del gigante Fionn MacCombal (o Finn MacCoul). Este albañil provocador empezó a construir una calzada a través del mar para atacar mejor a su odiado rival Fingal, quien por su parte se había hecho una fortaleza de construcción similar en la isla de Staffa (fig. 1.2). Es evidente que la satisfacción complaciente frente a tales «explicaciones» ahoga el espíritu de investigación afanosa, que es esencial para que nazca y se desarrolle la ciencia.

Sólo en los últimos siglos se llegó a constatar de forma generalizada y absoluta la inutilidad de interpretar motivos y propósitos a partir de los hechos. En especial las civilizaciones antiguas, incluyendo sumerios, hindúes, babilonios y griegos, todos los cuales hicieron importantes descubrimientos en matemáticas y astronomía, cometieron lamentables equivocaciones como consecuencia de inventar respuestas a la peligrosa pregunta «¿Por qué?» Ellos consideraban los fenómenos de la Naturaleza como manifestaciones del poder de deidades míticas cuyo comportamiento se imaginaba como la de un hombre irresponsable, cuyo humor era impredecible, pero que podía ser propicio ofreciéndole sacrificios adecuados.

En la región mediterránea, por ejemplo, muchos de los dioses del Olimpo, familiarizados por

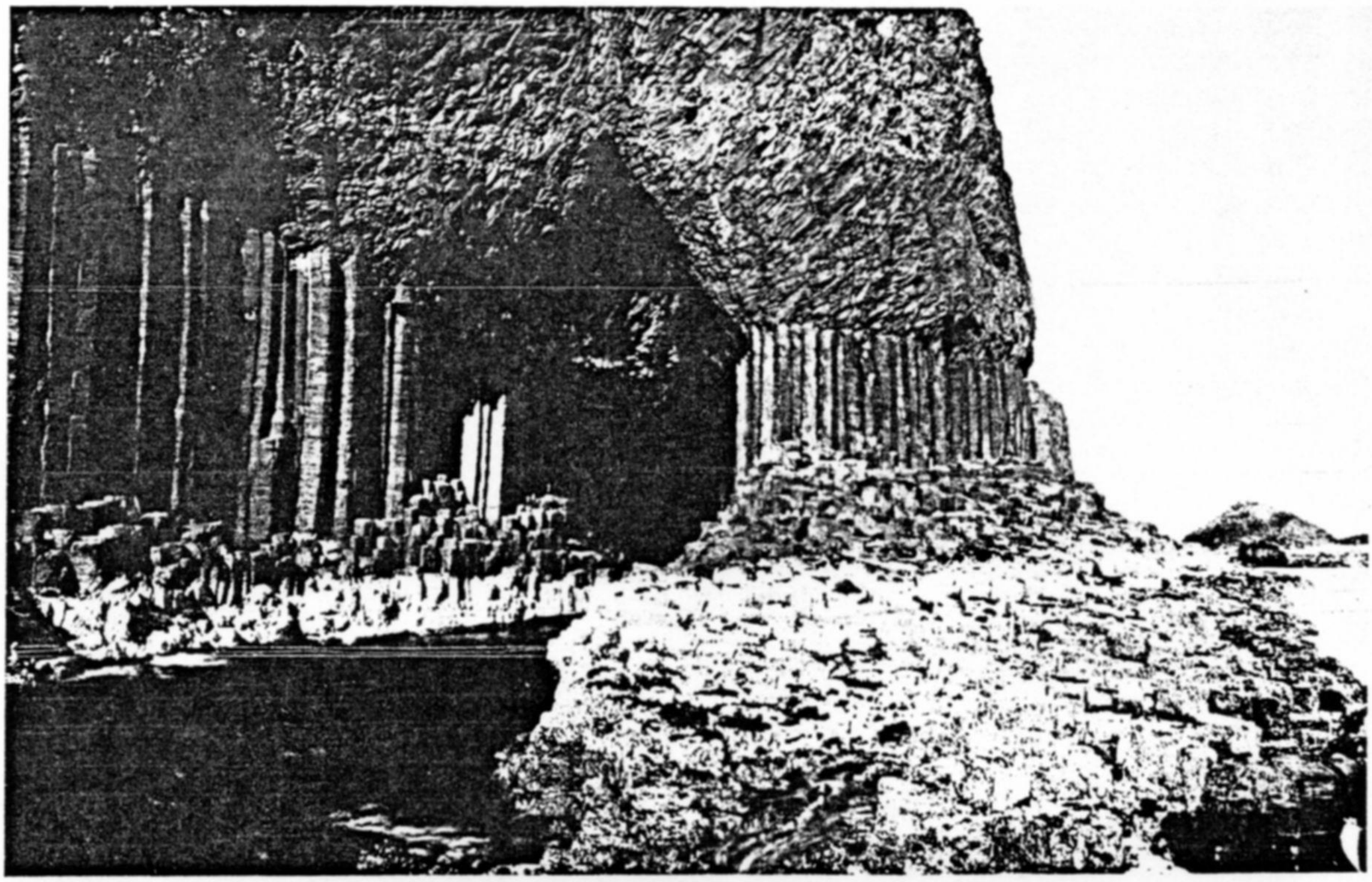


Figura 1.2. Gruta de Fingal, isla de Staffa, al oeste de Mull, Strathclyde *(Paul Popper Limited).*

los poemas épicos adscritos a Homero (unos 800 años a.C.) eran personificaciones de varios aspectos de la Naturaleza, incluyendo un gran número de procesos geológicos que de ellos recibieron su nombre. Poseidón (más tarde identificado con el dios romano del agua, Neptuno) controlaba los mares y el agua subterránea. Como las aguas confinadas bajo la superficie se esforzaban por salir, Poseidón las ayudó haciendo temblar la tierra y agrietando el suelo. Así, se convirtió en el dios de los terremotos. Tifón, el origen de las tempestades destructivas, era un «monstruo de muchas cabezas de ferocidad maligna» que, en su día, fue derrotado por los rayos de Zeus, dios del cielo y del tiempo, quien lo encarceló en la Tierra. Hades, correspondiente al dios Plutón de los romanos, era la deidad que presidía las zonas profundas, inferiores, del infierno. Sin embargo, no fue el dios del fuego subterráneo. Esta responsabilidad fue asignada a Efesto, hijo de Zeus, quien él mismo controló el fuego en forma de relámpago. Cuando los griegos ocuparon Sicilia, Efesto fue identificado con el dios-volcán local Vulcano. Las erupciones de lava y bombas volcánicas del Etna y del Estrómboli eran temidas por su peligro y como expresiones de la cólera del dios del fuego.

Los poemas épicos de Homero constituían una autoridad bíblica para los antiguos griegos y por eso hay que reconocer el mérito de Tales de Mileto (hacia 624-565 a.C.) por su valor en romper claramente con todas esas creencias tradicionales. Él se planteó las actividades de la Naturaleza, no como indicadoras de intervención sobrenatural, sino como acontecimientos naturales y de acuerdo con un orden, que podían investigarse a la luz de la observación y la razón. Así se convirtió en el primer griego profeta de la ciencia. Al observar que la deposición de limo procedente de las aguas del Nilo daba lugar a un crecimiento del delta, desarrolló la hipótesis de que el Agua era la fuente de la tierra y de todo lo demás. Sin duda es una hipótesis tosca, poco elaborada, pero probablemente sólo algo más tosca que la hipótesis actual, según la cual el hidrógeno es el elemento princi-

pal. Lo importante es que las actividades naturales y observables del agua reemplazaron a las imaginarias, y por tanto inescrutables, actividades de Poseidón. La Ciencia había reemplazado a la superstición.

Más tarde, Heráclito (hacia el año 500 a.C.), famoso por su filosofía de que «todo es un flujo perpetuo y nada permanece» escogió el Fuego, el agente de transformación más activo, como principio fundamental de los fenómenos. Las manifestaciones observables del fuego reemplazaron a los dioses del fuego. El siguiente paso lo dio Empédocles, al comprender que eran necesarios ambos, Fuego y Agua, ya que al calentar el agua natural se evapora en Aire (en este caso, vapor) y deja un residuo de Tierra (el material previamente disuelto). Así, estableció los cuatro «elementos» que, a grandes rasgos, corresponden a nuestros conceptos de energía y a los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia.

A pesar de estos inicios prometedores, la ciencia languideció durante dos mil años. Los filósofos jónicos que iniciaron la búsqueda científica tuvieron conciencia de que era necesario otro «elemento» que tuviera en cuenta al Hombre. Lo llamaron Consciencia o Alma, y algunos la consideraron divina. Al concentrarse en éste aspecto de la existencia, Platón (427-347 a.C.) y Aristóteles (384-322 a.C.) resucitaron la idea de que la Tierra, el Sol y los Planetas eran todos deidades. Así, inconscientemente, uno de los efectos de su autoridad indiscutida fue apoyar el viejo culto babilónico de la astrología, en contra de la austera disciplina científica. Pero ¿qué tiene que ver todo esto con la geología? Dos ejemplos lo ilustrarán. Herodoto (484-426 a.C.) fue un gran viajero que hizo muchas observaciones geológicas significativas. Especuló sobre el efecto de los terremotos en el paisaje; sin embargo, siempre le pareció razonable que los terremotos dependían de Poseidón. Mucho después, Plinio (23-79 d.C.), quien, como Empédocles, murió mientras investigaba un volcán desde demasiado cerca, «explicó» los terremotos como una expresión del resentimiento de la Tierra contra los que mutilaban y saqueaban su piel extrayendo oro, plata y hierro de las minas.

Con el nacimiento de la Cristiandad desaparecieron los incentivos para estudiar las vías naturales. Como el hombre tenía una teoría completa respecto de *por qué* ocurrían las cosas, no se interesaba en *cómo* ocurrían. Además, había una creencia extendida de que la Tierra había sido creada ya del todo, terminada, hacía sólo unos pocos miles de años, y que pronto llegaría el fin del mundo. Dos factores, entre otros, terminaron con este período de estancamiento. La Tierra, desconsideradamente, no llegaba a su fin, hasta que por fin empezó a parecer que valía la pena interesarse por los hechos del mundo en lugar de ocuparse sólo de discutir ideas. Otro factor fue de tipo social. Para los griegos, un filósofo se rebajaba si se ocupaba de la artesanía y de técnicas especiales necesarias para cualquier tipo de tecnología. Para esas actividades prácticas ya estaban los esclavos. Sin embargo, durante la Edad Media, al ponerse cada vez más de moda la práctica de la alquimia, el lugar de estudio del filósofo pasó a ser el laboratorio. La filosofía y la tecnología —o, en un concepto más general, la teoría y la práctica— gradualmente dejaron de estar divorciadas, y con la llegada del Renacimiento, la alianza ocasional y creciente de las dos, favoreció de nuevo el espíritu de la ciencia. Con su versátil y aún no superado genio, Leonardo da Vinci (1452-1519) estableció firmemente el nuevo modelo. Si no hubiera sido famoso como pintor e ingeniero, lo hubiera sido como pionero en muchos campos de las ciencias naturales. Él se dio cuenta de que los paisajes eran moldeados y desgastados por la erosión; de que las conchas de fósiles encontradas en las calizas de los Apeninos eran los restos de organismos marinos que vivieron en el fondo de un mar desaparecido, que en un tiempo se extendía por Italia; y de que no había podido existir un Diluvio Universal que los incrustara en las rocas, de las que ahora constituyen una parte tan importante. Pero Leonardo era muy avanzado para su época, y tuvieron que transcurrir aún trescientos años más antes de que el Diluvio dejara de obstruir el progreso de la geología.

Ahora consideramos los procesos naturales como manifestaciones de la energía que actúa en la materia o a través de ella. Ya no se acepta que los acontecimientos sean resultado de la arbitraria —y por tanto impredecible— interferencia de deidades mitológicas. Los tifones y los huracanes ya no se interpretan como soplo destructor de un iracundo dios del viento: se originan por el calentamiento del aire situado sobre tierras abrasa-

das por el sol. La fuente de energía es el calor solar. Las erupciones volcánicas y los terremotos ya no reflejan el comportamiento revanchista de los dioses del agua y del fuego subterráneos: proceden de los esfuerzos y deformaciones del inestable interior de la tierra, y de la acción de los gases desprendidos y del calor en las partes externa y cortical del globo. La fuente de energía se encuentra principalmente en los materiales que forman el interior de la Tierra.

En muchos aspectos, como es de suponer, y particularmente en lo que se refiere a las grandes catástrofes, nuestros conocimientos son, por desgracia, todavía incompletos. La cuestión no consiste en que pretendamos ahora comprenderlo todo —si lo lográramos, la misión de la investigación científica estaría ya cumplida—, sino en tener confianza en la metodología de los procesos naturales. Como consecuencia de dos o tres siglos de investigación científica, hemos llegado a la conclusión de que la Naturaleza se deja penetrar, de modo que si le formulamos preguntas por medio de observaciones y experiencias apropiadas, nos contestará con precisión y nos recompensará con descubrimientos eficaces. Pero no se debe olvidar que la Naturaleza es el más perfecto de los testigos. No suele ser fácil encontrar las preguntas correctas y plantearlas correctamente. Por ello, y aparte la falibilidad humana, la disciplina de la ciencia no impide cometer errores. «Lo que impide —como lo ha expresado Norbert Wiener— es la retención de un error que ha revelado claramente su falsedad.»

Principales campos del estudio científico

Las preguntas que formulamos al observar un volcán en erupción son las típicas de las que provoca todo fenómeno natural. En términos generales indican que la investigación científica está interesada en las manifestaciones y transformaciones de la materia y la energía en el tiempo y en el espacio. Expresándolo en términos más breves y filosóficos, la ciencia trata de las relaciones entre los acontecimientos.

De todas las ciencias, la *física* es la más fundamental, pues trata de todas las manifestaciones de la energía, así como de la naturaleza y propiedades de la materia en sus aspectos más generales y a cualquier escala, desde las partículas subatómicas a los límites observables del universo en expansión (fig. 1.3). Hasta cierto punto, se imbrica con la *química,* que trata particularmente de la composición y acciones recíprocas de las sustancias de todas clases, en términos de átomos y moléculas, elementos y compuestos. La *biología* es la ciencia de la materia viva. La naturaleza de la vida continúa siendo un esquivo misterio. Como ejemplos de la amplia gama de fenómenos que son completamente inexplicables en términos de lo que conocemos como materia y energía, a pesar de los tan cacareados poderes de los robots electrónicos, es suficiente recordar nuestras facultades para transformar las ondas físicas en el milagro consciente de los colores y los sonidos. Sin embargo, hay muchos aspectos de los organismos y sus restos fósiles que pueden investigarse por métodos científicos con éxito asombroso.

Todas las demás ciencias tienen sus propios campos de interés, pero estos «campos» se solapan en todas direcciones y las intrusiones de un campo en otro son cooperaciones bien recibidas. La *astronomía,* que tiene como campo de estudio el impenetrable universo de las estrellas y nebulosas, trata esencialmente de la distribución y movimientos de la materia en el espacio, a la escala celeste. Su interés por la tierra se limita a los aspectos puramente planetarios de nuestro globo. Desde un punto de vista astronómico, la tierra se puede considerar como una insignificante mota de polvo en la inmensidad del espacio. Pero el espacio no tiene límite inferior, y la tierra se puede considerar también como una galaxia de átomos, como muestra la figura 1.3, diseñada para mantener nuestro sentido de las proporciones. Como hogar de la humanidad y madre de toda vida conocida, consideramos la tierra como el campo más importante para investigarlo especialmente. Así llegamos a la ciencia dedicada a la tierra, llamada apropiadamente *geología* (del griego *Gea,* la ancestral diosa Tierra de la mitología griega; y *logia,* un sufijo que significa «conocimiento de»).

Desde los días más remotos de los descubrimientos, la *geografía* ha sido considerada como el estudio del «hogar de la humanidad». La geografía moderna concentra su atención sobre el medio físico, biológico y cultural en que se desarrolla el hombre y sobre las relaciones de éste con aquél. El estudio del medio físico en sí mismo

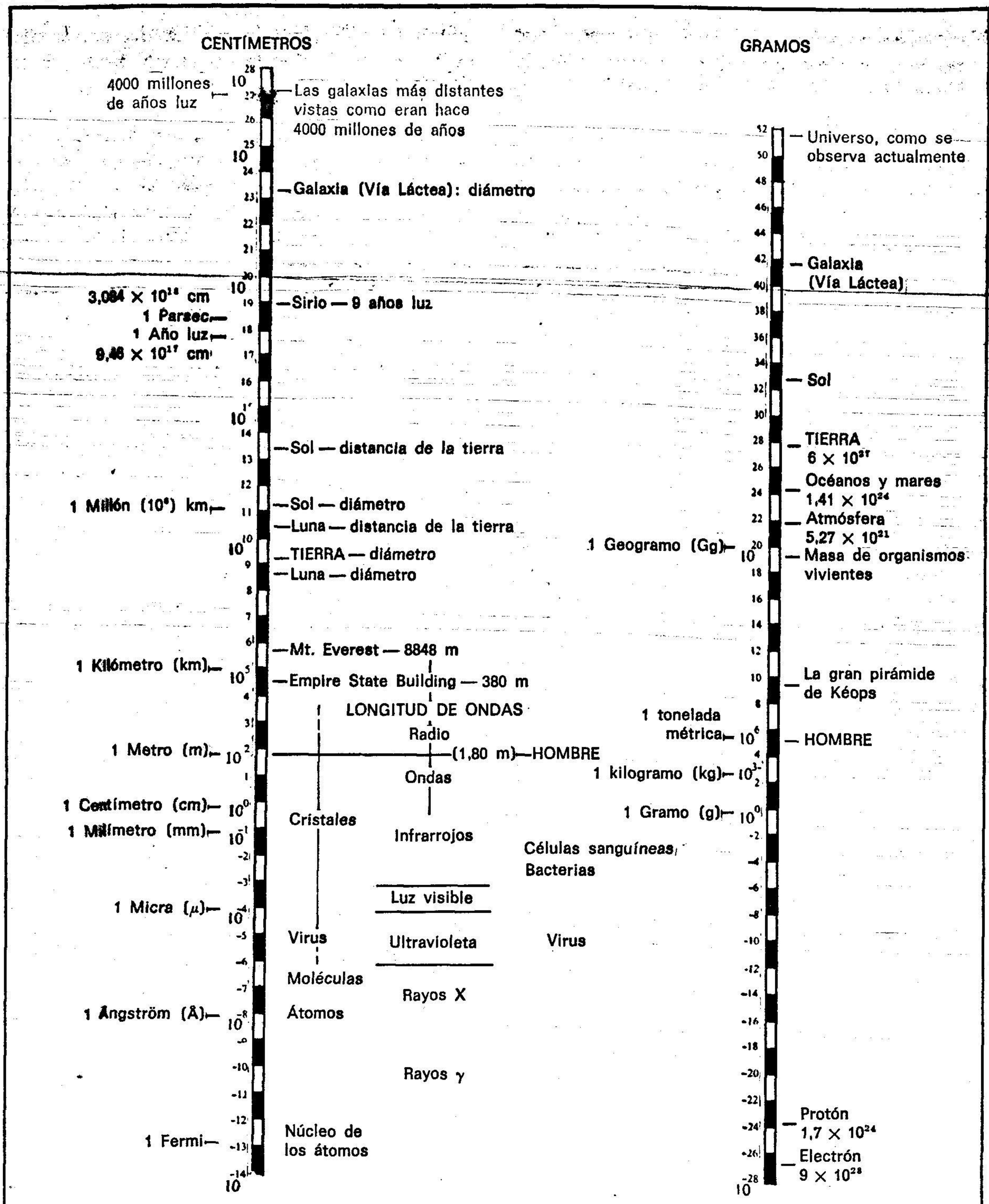


Figura 1.3.

La posición relativa de la Tierra y el Hombre en el Universo expresada en decenas de centímetros y gramos.

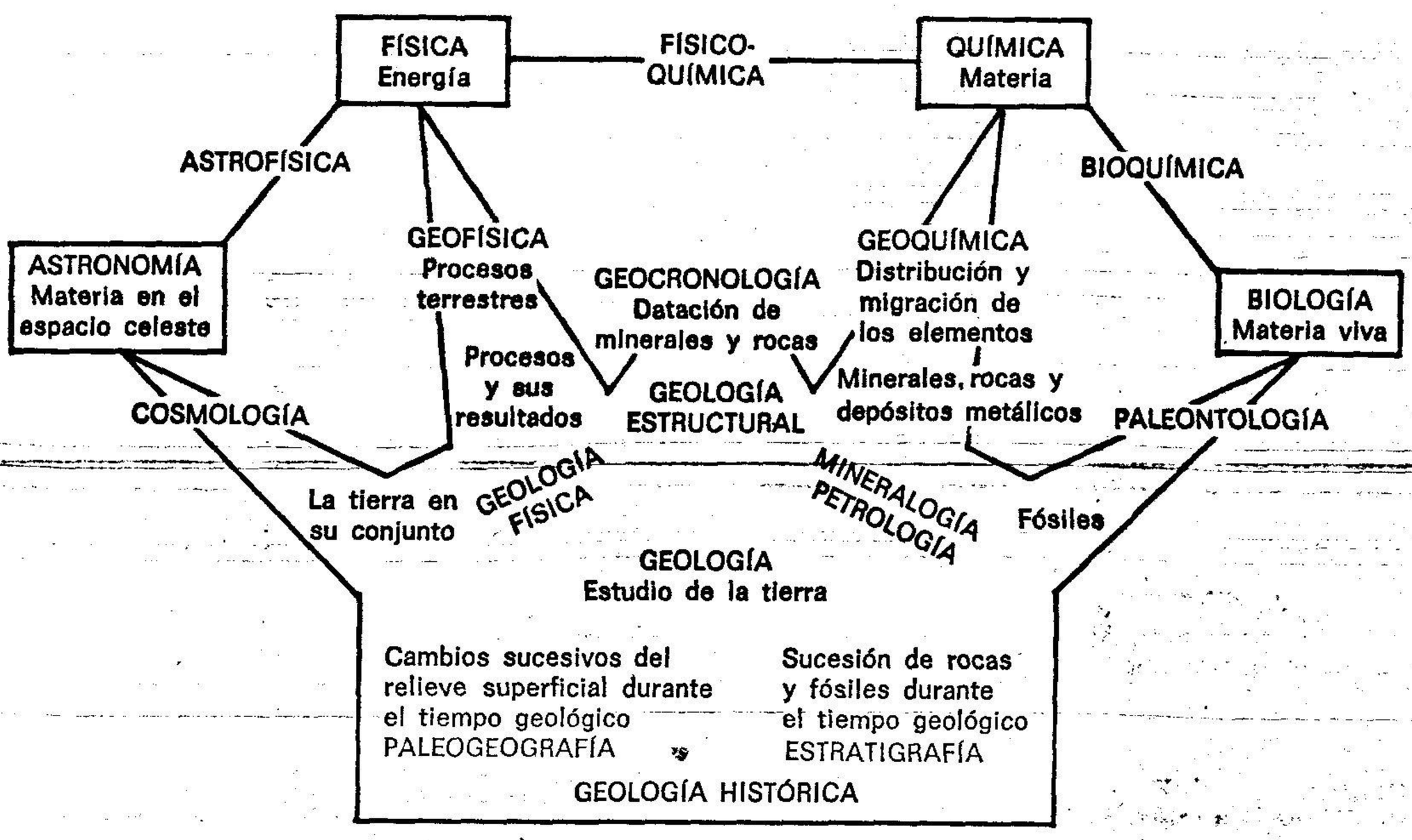
constituye la geografía física, que abarca la consideración del relieve de la superficie de los continentes y los océanos (geomorfología), de los mares y océanos (oceanografía) y del aire (meteorología y climatología), todas ellas se han convertido en importantes miembros de la comunidad de las ciencias con su propio cometido. No obstante, la geología, como ciencia más generalizada, trata no sólo de las formas del paisaje y otros rasgos superficiales de la corteza terrestre rocosa, sino también de la estructura y comportamiento de cada parte de la tierra, con especial referencia a las rocas y estructuras de la corteza visible y todo lo que se puede deducir de ellas.

Alcance y subdivisiones de la geología

La geología moderna tiene por objeto descifrar la evolución completa de la tierra y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos cuyas huellas puedan descubrirse en las rocas, hasta la actualidad. Un programa tan ambicioso exige una profunda subdivisión de esfuerzos, y en la práctica es conveniente dividir el tema en cierto número de secciones, como se expone en la figura 1.4, que indica además las principales relaciones entre la geología y otras ciencias principales. Las palabras clave de las principales ramas son los *materiales* del armazón rocoso de la tierra (mineralogía y petrología), y sus *disposiciones*, o sea, su forma, estructura e interrelaciones (geología estructural); los *procesos* geológicos o mecanismos de la tierra, por los que se producen cambios de todo tipo (geología física); y finalmente la sucesión de estos cambios en el tiempo, o la *historia* de la tierra (geología histórica).

La tierra está formada por una gran variedad de materiales, como aire, agua, hielo y organismos vivos, así como minerales y rocas, y los útiles depósitos de minerales metálicos y de combustibles que se asocian con aquéllos. Los movimientos relativos de estos materiales (el viento, la lluvia, los ríos, las olas, las corrientes y los glaciares; el crecimiento y movimientos de los animales y plantas; y los movimientos de materiales ardientes en el interior de la tierra, atestiguados por la actividad volcánica) ocasionan todos los cambios en la corteza terrestre y en su superficie. Los cambios comprenden la formación de nuevas rocas a partir de otras antiguas; estructuras nuevas en la corteza y nuevas distribuciones de mares y continentes, montañas y llanuras, y aún de tiempo y clima. El escenario actual es solamente la última fase de una serie variadísima e infinita de paisajes

Figura 1.4. Subdivisiones de la ciencia geológica y sus relaciones con las demás ciencias.



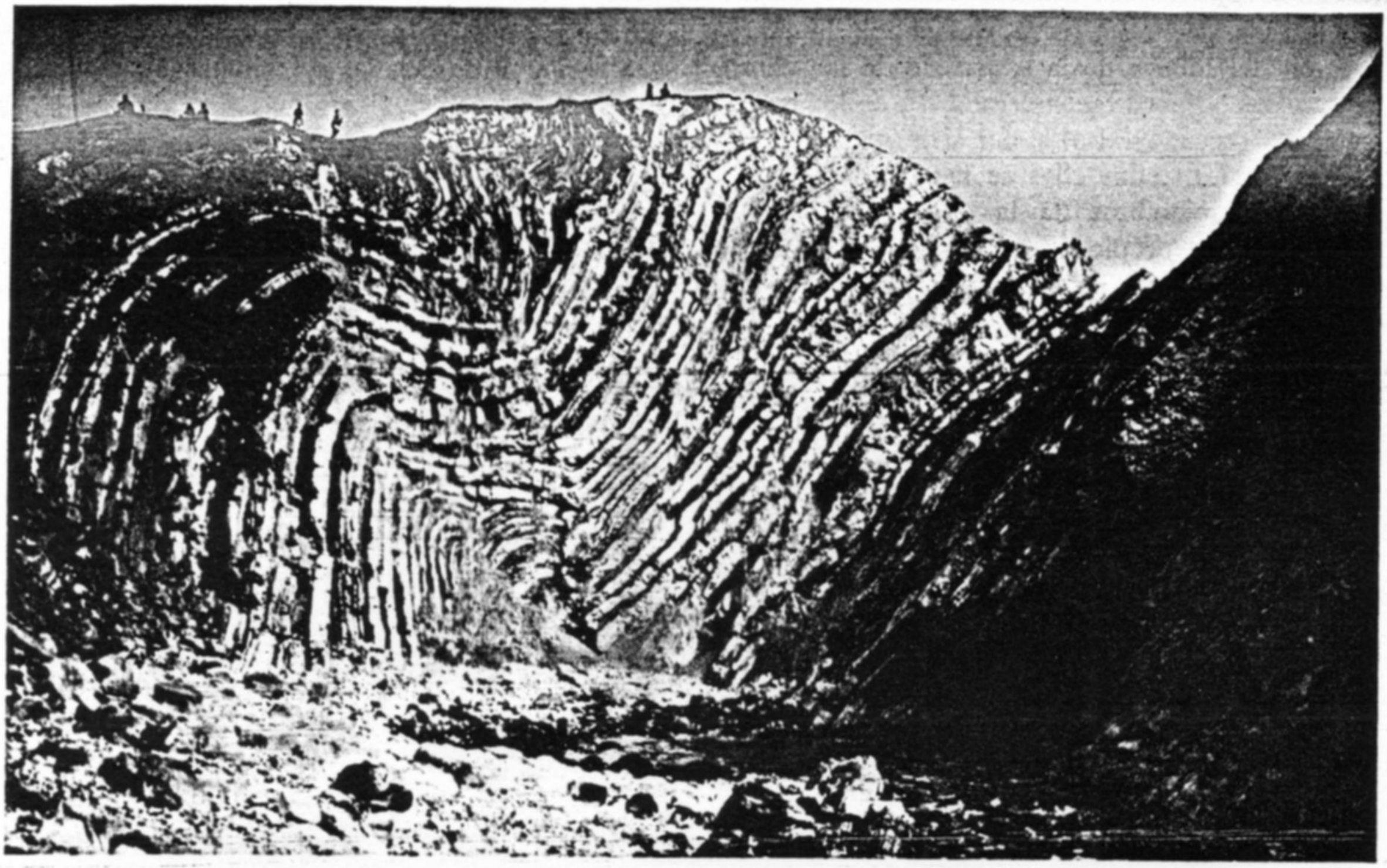


Figura 1.5. Estratos plegados de edad jurásica (véase página 110). El Stair Hole, al oeste de Lulworth Cove, Dorset *(F. N. Ashcroft).*

terrestres y marinos. La *geología física* estudia todos los agentes terrestres y procesos transformadores, así como los efectos por ellos causados. Esta rama de la geología no se reduce, como ya hemos visto, a la geomorfología. Se interesa principalmente en los mecanismos de la tierra, y en los resultados, pasados y presentes, de los varios procesos implicados, los cuales están aún operando activamente en la superficie terrestre o cerca de ella o en profundidad, donde no podemos verlo. De estos resultados son ejemplos importantes los cambios de posición de continentes y océanos, de montañas plegadas, dorsales y fosas oceánicas. Otros ejemplos son las estructuras de las rocas —como los pliegues, figura 1.5— resultantes de los movimientos y deformación de la corteza terrestre. La *tectónica,* que estudia estas estructuras, es una parte importante de la *geología estructural,* la cual trata también de las formas y estructuras que caracterizan las rocas en el momento de formarse.

Cambios de todas clases se han sucedido continuamente en el transcurso de la existencia de la tierra, es decir, durante unos 4600 millones de años. Para el geólogo, una roca es algo más que un agregado de minerales; es una página de la autobiografía de la tierra, con una historia por descubrir con tal de que aquél llegue a leer la lengua en la que están escritos los datos. Dispuestas en orden apropiado, de la primera a la última (*estratigrafía,* fig. 1.6) y datadas, cuando es posible, mediante la determinación de la edad de los minerales y rocas radiactivos *(geocronología),* estas páginas engloban la historia de la tierra. Además, es cosa ya bien sabida que muchas capas de rocas contienen los restos o las impresiones de conchas, huesos u hojas. Estos objetos se llaman fósiles, término que fue usado por primera vez por Agrícola (1494-1555) para designar cualquier cosa de interés excavada del suelo, incluyendo los minerales. Desde fines del siglo XVIII, sin embargo, el término se ha usado sólo para restos de animales y plantas que habitaron la tierra en tiempos pretéritos. La *paleontología* es el estudio de los restos de estas formas de vida ancestrales, algunas de las cuales, al igual que ciertos tipos de

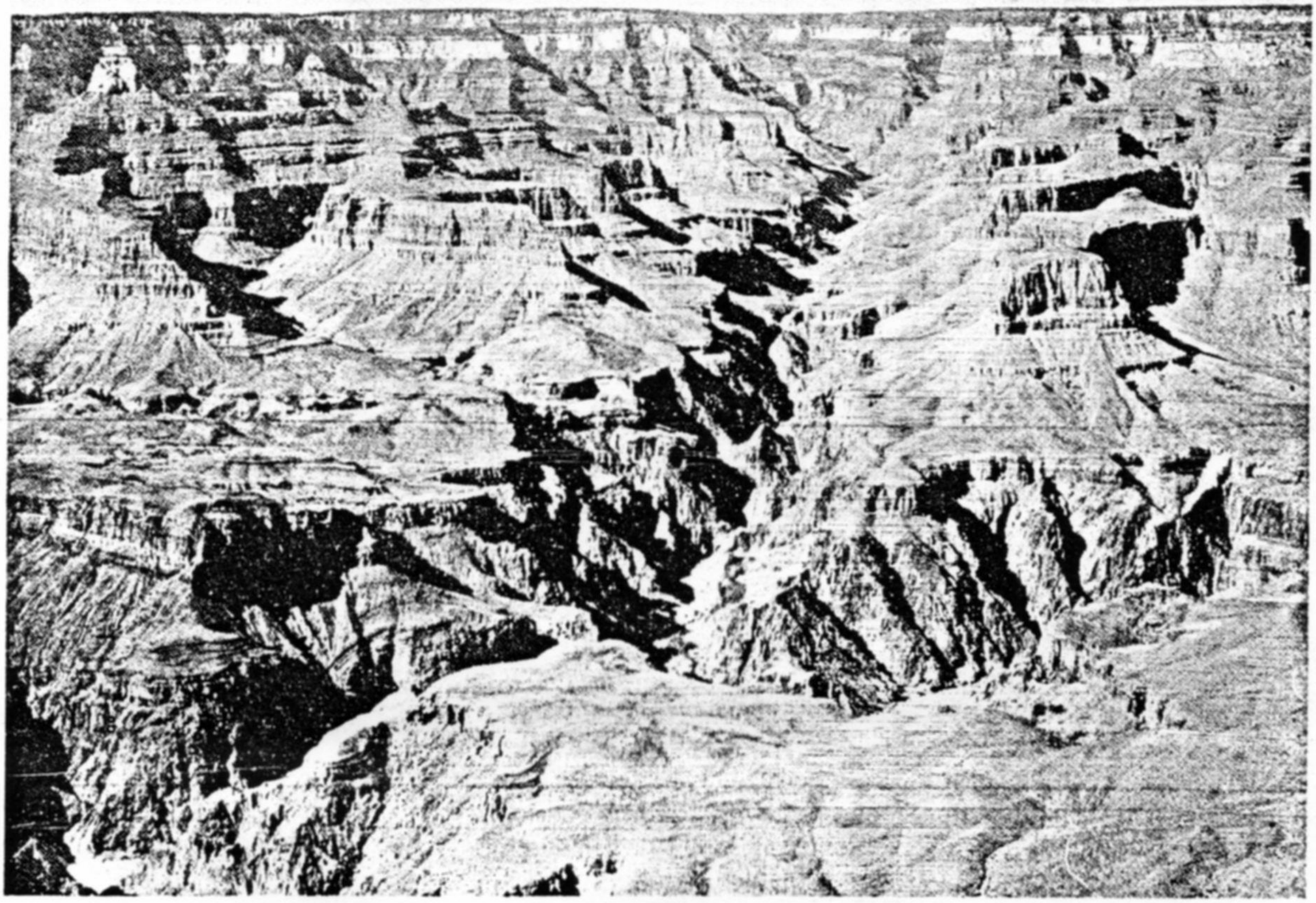


Figura 1.6. Larga secuencia de estratos horizontales expuestos por la erosión fluvial; arriba, el cañón Bright Angel, tributario del Gran Cañón del río Colorado *(Servicio Geológico de los Estados Unidos de América).*

algas marinas, se remontan a, por lo menos, 3000 millones de años. Así, vemos que la geología histórica trata, no sólo de la secuencia de los hechos causados por la acción de los procesos físicos, sino también de la historia del largo proceso de la vida a través de las edades.

La geología no está en modo alguno desprovista de importancia práctica en relación con las necesidades e industrias de la humanidad. Desde luego, la investigación de combustibles ha sido siempre un importante estímulo para el progreso geológico. A lo largo del siglo XVIII se fue reconociendo que el trabajo hecho por caballos, molinos de viento y turbinas se podía aumentar mucho utilizando la energía almacenada en el carbón. En la prospección del carbón, y más tarde en la de minerales de hierro y otros metales útiles, tuvo la geología su verdadero inicio, hace casi 200 años. En nuestro siglo, la investigación petrolífera, de uranio y otras fuentes de «combustible atómico» han llevado a nuevos esfuerzos geológicos. Al aumentar la demanda de combustibles, y con el agotamiento de las reservas de petróleo en tierra, la cooperación de los geofísicos ha dado como resultado el descubrimiento de gas y petróleo en las rocas de las plataformas continentales. Texas y Luisiana se han estado abasteciendo de petróleo de la plataforma desde hace tiempo, y Gran Bretaña ya recibe petróleo y gas del Mar del Norte. Según los cálculos hechos a principios de 1975, las reservas de petróleo que se pueden extraer en el sector británico del área de plataforma del Mar del Norte son del orden de 12 000

a 14 000 millones de barriles, y las reservas de gas de la misma fuente, de unos 1158 × 10^9 metros cúbicos. Los geólogos están también relacionados directamente con el vital problema del suministro del agua. Muchos proyectos de ingeniería, como túneles, canales, muelles y embalses, necesitan el asesoramiento geológico, para la selección de emplazamientos y materiales. En éstos y en otros muchos sentidos, la geología se aplica al servicio de la humanidad.

Aunque la geología tiene sus propios métodos de laboratorio para estudiar minerales, rocas y fósiles, es esencialmente una ciencia de trabajo al aire libre. Arrastra a sus seguidores hasta despeñaderos y cataratas, glaciares y volcanes, playas y arrecifes de coral, hasta un campo cada vez más lejano, en la búsqueda de información sobre la tierra y sus manifestaciones, a veces confusas. Dondequiera que puedan verse rocas en riscos y canteras, se puede observar su disposición y sucesión, y, de acuerdo con esto, descifrar su historia. Sin embargo, las partes de la tierra ocultas bajo los océanos constituyen la provincia de las investigaciones geofísicas recientes. Desde 1960, los descubrimientos geológicos respecto a los cambios de posición de los polos magnéticos en relación con los continentes, y el descubrimiento de las anomalías magnéticas en la corteza basáltica de los fondos oceánicos, junto con la precisión cada vez mayor de las técnicas radiométricas de datación de rocas, han dado como resultado una nueva interpretación de la tierra, y una verdadera revolución en el pensamiento geológico.

Referencias seleccionadas

ADAMS, F. D., 1938, *The Birth and Development of the Geological Sciences*, Dover Publications, London.

BEVERIDGE, W. I. B., 1950, *The Art of Scientific Investigation*, Heinemann, London.

FARRINGTON, B., 1953, *Greek Science*, Pelican Books, London.

GAMOW, G., 1963, *A Planet Called Earth*, Viking Press, New York.

GEIKIE, A., 1905, *The Founders of Geology*, Macmillan, London.

GILLISPIE, C. C., 1951, *Genesis and Geology*, Harvard University Press, Cambridge, U.S.A.

MERRILL, G. P., 1924, *The First Hundred Years of American Geology*, Yale University Press.

PEGRUM, R. M., REES, C., and NAYLOR, D., 1975, *Geology of the North-West European Continental Shelf*, vol. 2, The North Sea, Graham, Trotman, Dudley, London.

TOMKEIEFF, S. I., 1950, 'Geology in historical perspective', *Advancement of Science*, vol. 7, pp. 63–7.

WHITEHEAD, A. N., 1927, *Science and the Modern World*, Cambridge University Press, London.